

Atty. Dkt No.
33035M083

PATENT

RS

3

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE 3-20-02

Applicants: Hiromi NAKANISHI et al.

Serial No.: New

Group Art Unit: To Be Assigned

Filed: December 17, 2001

Examiner: To Be Assigned

For : OPTICAL RECEIVER

CLAIM FOR FOREIGN PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

10/015898
12/17/01
10/015898
12/17/01

Sir:

Under the provisions of Section 119 of 35 U.S.C., Applicants hereby claim the benefit of Japanese application No. 2000-391901 filed in Japan on December 25, 2000, and Japanese application No. 2001-175093 filed in Japan on June 11, 2001 relating to the above-identified United States patent application.

In support of Applicants' claim for priority, a certified copy of each of said Japanese applications is attached hereto.

Respectfully submitted,
SMITH, GAMBRELL & RUSSELL, LLP

By: 

Michael A. Makuch, Reg. No. 32,263
1850 M Street, N.W., Suite 800
Washington, D.C. 20036
Telephone: (202) 263-4300
Fax: (202) 263-4329

December 17, 2001

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

Jc618 U.S. PTO
10/015898
12/17/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年12月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-391901

出 願 人

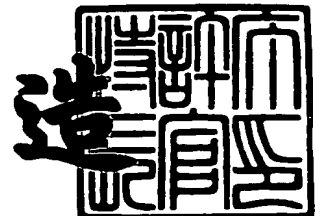
Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2001年 8月17日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3072602

【書類名】 特許願

【整理番号】 100H0770

【提出日】 平成12年12月25日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 G02B 06/42

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住友電気工業株式会社大阪製作所内

【氏名】 中西 裕美

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住友電気工業株式会社大阪製作所内

【氏名】 山林 直之

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住友電気工業株式会社大阪製作所内

【氏名】 工原 美樹

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代表者】 岡山 紀男

【代理人】

【識別番号】 100079887

【住所又は居所】 大阪府大阪市東成区中道3丁目15番16号毎日東ビル
7 0 5

【弁理士】

【氏名又は名称】 川瀬 茂樹

【電話番号】 06-6974-6321

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 000516

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9715687

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光受信器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光伝送媒体と受光素子が同一の基板上に配置され、光伝送媒体の終端又は光伝送媒体の途中に特定の波長の光を透過させる波長フィルタを設け、光伝送媒体に入射した波長多重光から波長フィルタによって特定波長だけを取り出し、受光素子によって感受するようにしたことを特徴とする光受信器。

【請求項 2】 特定の波長の光を透過させる波長フィルタが光伝送媒体の軸線に対して傾斜して設けられていることを特徴とする請求項 1 に記載の光受信器。

【請求項 3】 光伝送媒体が、光ファイバであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光受信器。

【請求項 4】 光伝送媒体が、基板上に形成された光導波路であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光受信器。

【請求項 5】 波長フィルタが光伝送媒体の受光素子に対向する方の端面に配置されている事を特徴とする請求項 1 ～ 4 の何れかに記載の光受信器。

【請求項 6】 波長フィルタが光伝送媒体の途中に設けられた間隙に挿入されている事を特徴とする請求項 1 ～ 4 の何れかに記載の光受信器。

【請求項 7】 基板がセラミック基板であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 の何れかに記載の光受信器。

【請求項 8】 基板が S i 基板であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 の何れかに記載の光受信器。

【請求項 9】 基板上に形成した溝に固定された光ファイバの終端に波長フィルタを配置し、波長フィルタを通過した光を、基板上に設けた光路変換溝で反射することによって受光素子に導く事を特徴とする請求項 1 ～ 8 の何れかに記載の光受信器。

【請求項 1 0】 S i 基板上に形成した S i O₂ 系の光導波路の終端に波長フィルタを配置し、波長フィルタを通過した光を、S i 基板上に設けた光路変換溝で反射することによって受光素子に導く事を特徴とする請求項 8 に記載の光受

信器。

【請求項 1 1】 基板上に形成した溝に固定された光ファイバの途中に斜めのスリットを設け、波長フィルタを挿入し、光ファイバの終端から出射した光を、基板上に設けた光路変換溝で反射することによって受光素子に導く事を特徴とする請求項 1 ～ 8 の何れかに記載の光受信器。

【請求項 1 2】 S i 基板上に形成した S i O₂ 系の光導波路の途中に斜めのスリットを設け、波長フィルタをスリットに挿入し、光導波路の終端から出射した光を、S i 基板上に設けた光路変換溝で反射することによって受光素子に導く事を特徴とする請求項 8 に記載の光受信器。

【請求項 1 3】 光伝送媒体の一部、波長フィルタ、受光素子が、透光性樹脂によって覆われている事を特徴とする請求項 1 ～ 1 2 の何れかに記載の光受信器。

【請求項 1 4】 受光素子が裏面入射型 P D であることを特徴とする請求項 1 ～ 1 3 の何れかに記載の光受信器。

【請求項 1 5】 受光素子の近傍に増幅器を配置した事を特徴とする請求項 1 ～ 1 4 の何れかに記載の光受信器。

【請求項 1 6】 S i 基板上に形成した S i O₂ 系の光導波路の途中に斜めのスリットを設け、波長フィルタをスリットに挿入し、光導波路の軸線上において波長フィルタの前後にコリメータレンズと逆コリメータレンズを設け、光導波路の終端から出射した光を、S i 基板上に設けた光路変換溝で反射することによって受光素子に導く事を特徴とする 1 ～ 1 5 の何れかに記載の光受信器。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は光通信システムに用いる光受信器に関する。特に、複数の異なる波長の光を用いて信号を伝送する光多重伝送システムに有用な光受信器に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

光通信システムが広く世界に普及するに従い、さらに通信能力を高めるため複

数の波長を用いる波長多重伝送方式が検討され、一部に導入されつつある。特に複数の波長の光を用いて低コストで加入者系の光化を実現するために、4波から16波程度の波長を用いて各家庭（加入者）と局間を結ぶ方式が検討されている。

【0003】

そのような場合、高性能の波長分波器WDM (Wavelength Division Multiplexer) を、 $m:1$ 、 $1:m$ の合波・分岐点 (m は多重度) に設けて、複数の波長を合波して波長多重光とし、反対に波長多重光を個々の波長に分離する必要がある。これは分光器のように異なる波長を異なる方向へと分離するようにしたものである。つまりWDMは波長多重光 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_m の内、その加入者 (j 番目とする) に割り当てられた λ_j だけを取り出して j 番目の加入者の光ファイバに配分する。高性能のWDMは一挙に波長分離できて極めて便利である。これは広範囲にわたる長距離伝送系では実用化されている。

【0004】

波長多重通信を小エリアにも適用したいものである。ところが狭い地域（小エリア）で波長多重通信を適用するとすると、低コストということがキーポイントになる。 $m:1$ 、 $1:m$ の合波点・分岐点に設けてこれによって波長分離するWDMは極めて高価である。これが波長多重通信システムのコストを引き上げる。WDMの低廉価が波長多重光通信普及の条件の一つである。そこで高価なWDMに代わる波長分離機能素子が模索されている。幾つかの提案がなされている。

【0005】

① 村上泰典、高地正彦「簡易WDMシステムの開発（小型EDFA／光BPF内蔵光受信機の開発）」信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE、OCS99-60、p41-46(1999-09)

【0006】

これは波長多重光通信システムにおいて合波点・分岐点にはWDMでなく安価なスターカプラを用いている。スターカプラは波長分離機能がなくて、全ての光ファイバに同一の波長分布の光を配分する。分岐点で分離するのではなくて分岐したあと受信器においてバンドパスフィルタ (BPF) によって j 番目の波長の

光だけを取り出す簡易のWDMシステムを用いることを提案している。簡易WDMというのはだから、混合m波から、m個の波長を分離するWDMとは違い、混合m波から一つの λ_j を取り出すものである。実際にはWDMを使用しない。だから「簡易」であって安価に製造できる可能性がある。

【0007】

図1は①が提案したスターカプラを用いた低コストなシステム構成例である。4波を用いた4加入者の場合の構成を示す。①の図1を簡略化したものである。

【0008】

この図は、局側から加入者側（各家庭）への送信部分である。これとは別に、加入者側（各家庭）から局側への送信部分がもう一つ存在する。局側には第1送信器S1、第2送信器S2、第3送信器S3、第4送信器S4があり、それぞれが波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 の波長の光を用いて信号伝送する。第1スターカプラSTC1はこれらm波長（この図の場合、 $m=4$ ）の光から、多重波光 $\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4$ を合成する。光ファイバFBは多重波光 Λ を伝送する。

【0009】

加入者側では第2スターカプラSTC2があって、これらをmの加入者（ONU）へ分配する。この場合は4つの加入者へ分配する。これは単純な分配にすぎず多重波 Λ をそれぞれの加入者の受信器に与える。第1受信器R1、第2受信器R2、第3受信器R3、第4受信器R4ともに多重波光 Λ を受ける。受信器の内部にそれぞれ固有の波長だけを通すバンドパスフィルタ（BPF）がある。R1は λ_1 、R2は λ_2 、…というように、それぞれ割り当てられた固有の波長をBPFが選択して透過し、これがPDに入射して感受されるようになっている。PD自体は広い感度域を持っており Λ に含まれる全ての光に感度を持っている。BPFによって分離された光をPDが感受するから固有の波長信号だけを得ることができる。つまり、一つのWDMをm個のBPFによって置き換えたものが簡易WDMである。

【0010】

このような構成において、複数の信号光の波長はできるだけ近接させた方が加入者数を増やすことができ、有利である。しかし隣接波長が互いに近接していると、光源の発光波長精度と光受信器の受信波長精度を厳密に制御するのが難しくなりコストが高くなる。従来例①では、 $1.5\mu\text{m}$ 帯の8波長を利用し、一つの波長あたりの波長帯域が、 3.2nm で設計されている。具体的には、例えば 1536.6nm から、 1539.8nm 、 1543.0nm …… 1559.0nm というように8つの中心波長が与えられている。極めて狭い間隔である 3.2nm 刻みで中心波長が与えられるので、発光素子はその波長を中心として極めて狭い発光のスペクトルを持つLDでなければならない。発光素子側においてシャープなスペクトルのものが用いられなければならない。また受光素子側では鋭い波長選択性を持った波長フィルタが要求される。

【0011】

ここでこの明細書において使用される用語を定義する。波長多重伝送において、波長の相違する m 波を使用するとして、その波長を $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ とする。波長が等間隔であるとして、その間隔を Δ で表す。 $\lambda_j = \lambda_1 + (j-1)\Delta$ である。もちろん等間隔でなくても良い。

【0012】

m 人の加入者(ONU)があり、これらには番号を付けて、 U_1, U_2, \dots, U_m とすることができる。 j 番目の加入者 U_j は、 j 番目の波長 λ_j を独占的に受信する。そこで加入者 U_j から見て、波長 λ_j を「固有波長」と呼ぶ。それ以外の波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{j-1}, \lambda_{j+1}, \dots, \lambda_m$ の集合を「余波長」と呼び、 Γ_j によって表す。 $\Gamma_j : \lambda_1, \dots, \lambda_{j-1}, \lambda_{j+1}, \dots, \lambda_m$ である。 $\Gamma_j = \Lambda - \lambda_j$ とも書ける。

【0013】

λ_j を発生する j 番目の発光素子(LD)を L_j とする。これは λ_j に鋭いピークを有する発光スペクトルの発光素子である。ピークの頂点を「中心波長」と呼ぶこともあるが、これは「固有波長」 λ_j と同じ事である。それぞれの波長の帯域は Δ であり、きわめて狭いものである。 j 番目のフィルタ F_j は全波長集合 $\Lambda : \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ から、固有波長 λ_j だけを選択透過し、余波長 $\Gamma_j : \lambda$

$\lambda_1, \dots, \lambda_{j-1}, \lambda_{j+1}, \dots, \lambda_m$ を反射するものである。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

①のシステムでは、波長分離機能を持たない低コストのスターカプラを合波分波に用いている。だから光受信器側で自分の受信すべき波長（固有波長）を選択する必要がある。ところが光通信において通常用いられる InGaAs 系の受光素子（PD）は、 $1.0\mu\text{m}$ から $1.6\mu\text{m}$ の広い波長範囲において高い感度を有する。つまり InGaAs 受光素子には波長選択性がない。そこで①は、固有波長を選択透過するバンドパスフィルタを受信器内部で受光素子（PD）の先方に配置している。

【0015】

バンドパスフィルタ（BPF）は屈折率、厚みの異なる２種類以上の誘電体層を複数層積層したものであり特定の波長を透過したり特定の波長を反射したりする。ここでは特定の波長（ λ_j ）を透過し、それ以外の波長（余波長； Γ_j ）を反射するような特性を持つ波長フィルタを用いる。

【0016】

図２に①で用いられている波長フィルタの断面図を示す。円盤状金属ステム１の上に受光素子である PD２が実装されている。ステム１からピンが出ておりピンと PD の上下電極がワイヤで接続されているがここでは図示を略した。レンズ３を上部開口に取り付けた円筒形金属のレンズホルダー４の底部にステムが挿入固定されている。レンズホルダー４はさらに大きい円筒形のハウジング５の内部に挿入される。ハウジング５の先端には円筒系のホルダー６が調芯溶接される。

【0017】

ホルダー６の中には光軸に沿って円柱形の逆コリメータ７、円盤形のバンドパスフィルタ（BPF）８、円柱形のコリメータ９が挿入されている。コリメータ９というのは一点から出た光を平行光にする光学部品である。逆コリメータ７は平行光を一点に収束させる光学部品である。さらに光ファイバ１０の先端を把持する円柱形のフェルール１１がホルダー６に挿入される。

【0018】

光ファイバから出た波長多重受信光 Λ は全ての波長成分を含む($\Lambda; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$)。波長多重光 Λ はコリメータ9によって広がり平行光になる。平行光となってバンドパスフィルタ(BPF)8で波長選択作用を受ける。つまりバンドパスフィルタ8は固有波長だけを通し、余波長は反射する。j番目の受信器の場合、このバンドパスフィルタ8(F_j)は固有波長 λ_j を通し、余波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{j-1}, \lambda_{j+1}, \dots, \lambda_m$ を反射する。波長選択された後、 λ_j は逆コリメータ7で収束させられ開口12を通りハウジング5に入り、レンズ3で集光されてPD2に当たる。PD2は固有波長 λ_j だけを受感する。

【0019】

どうしてコリメータ系(コリメータ、逆コリメータ)が①の受信器に設けられるのか?それは誘電体多層膜よりなる波長選択性は平行ビームでなければ厳密な選択性を発揮できないからである。わずかでもビームの傾きがあると波長選択性に狂いが生じる。だから平行ビームにしなければならない。もしも光ファイバから光を空間に取り出すとすると、そのビームはNA(numerical aperture; $\sin \theta = (n_0^2 - n_d^2)^{1/2}$; n_0 コア屈折率、 n_d クラッド屈折率)で広がる。広がりつつあるビームは断面における傾斜角が相違する。傾斜角が同一でないと誘電体多層膜の波長選択性が働かない。平行ビームであってはじめて波長フィルタは固有波長(λ_j)だけを選択して透過させることができる。斜めのビームがあるとそれは余波長分(Γ_j)を含んでしまう。これではいけない。光ファイバから出た光は発散ビームで角度は様々であり、波長フィルタはそのままでは波長分離できない。どうしても平行ビームとして誘電体多層膜の波長フィルタを通す必要がある。そのために①はコリメータと逆コリメータが必須であったのである。

【0020】

レンズ、コリメータ、逆コリメータがあって、これらの部品を固定するためのハウジング、レンズホルダー、ホルダーなどがあるから、図2の受信器は極めて高価であり大型の素子となる。図2の素子は直径が7mm~10mm、高さが15mm~20mmにもなってしまう。BPF、コリメータ、逆コリメータの直径

も 3 mm ～ 6 mm にもなり、これらの光学部品も大型である。高価大型の装置を必要とするものは一般家庭を対象とする加入者系での通信装置として普及させるのは難しい。小型安価なものでなければ一般の家庭まで容易に普及するものでない。

【 0 0 2 1 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、光を導入するための伝送媒体（光ファイバ或いは光導波路）の終端部或いは中間部に、波長フィルタを密着させ、波長フィルタを透過した光を受光素子に導くようにした。つまり光伝送系の終端か中間に直接に波長フィルタを密着させることにより表面実装型の光受信器に波長選択性を持たせる。密着させるから光が空間に広がらないうちに波長分離できる。コリメータ、逆コリメータ、レンズなどは不要である。そうすることによって、小型で部品点数が少なく、組立も簡単であって低コストの光受信器を提供することができる。

【 0 0 2 2 】

従来例①は、いくつかの箇所で光を空間に取り出している。多波長を含む光を空間に取り出すと、光はその光学系の N A に従って広がってゆく。距離が長くなればなるほど広がりや激しくなる。そうすると波長フィルタへの入射角度が設計値と異なってきて波長範囲がずれるという大問題が生ずる。これを避けるために従来例①のように、コリメータ、逆コリメータ、集光レンズが必要となる。ために部品点数が多くなりサイズも大きくなり実装も難しくなる。

【 0 0 2 3 】

この難点を解決するには、波長多重光を空間に出さないようにする他はない。本発明者は、多波長を含む信号光を空間に取り出さないということを目指して新規の波長選択性のある光受信器を発明した。本発明は、波長フィルタを光ファイバや光導波路に密着させる。こうして N A を小さくし光の広がりを抑制し安定な光受信器とする。密着させるのが理想であるが波長フィルタと光ファイバ、光導波路の間には極微の間隙が残る。この隙間には、ファイバとほぼ同じ屈折率の透光性樹脂を充填する。波長フィルタと光導波路、光ファイバを密着させるから、光は空間に出ないし広がらない。広がらないからコリメータ、集光レンズ、逆

コリメータなどが全く不要になる。

【 0 0 2 4 】

波長フィルタを光ファイバや光導波路の端部に密着させるか、中間部に挿入密着させる。中間部に挿入する場合は、光ファイバ－波長フィルタ－光ファイバ、あるいは光導波路－波長フィルタ－光導波路というようになる。端部に付ける場合でも、中間部に挿入する場合でも、波長フィルタを光軸に対して4度～12度（傾き角 Θ ）程度傾けることがより好ましい。これは反射光が光源のLDに戻ってLD不安定性を引き起こすのを防ぐためである。もちろん光ファイバと波長フィルタや充填する樹脂の屈折率差が小さく反射光が問題にならない時は傾ける必要は必ずしもない。但し、以下ではより好ましい、波長フィルタを傾斜させる場合について説明する。

【 0 0 2 5 】

光ファイバ、光導波路に直接に、波長フィルタを密着させると、光が殆ど広がらないうちに、光は波長フィルタの波長選択作用を受けるから、波長選択作用に狂いが起こらない。所望の波長（固有波長）だけが波長フィルタを透過する。不要の波長（余波長）は全て波長フィルタで反射される。反射されても、もとの経路である光ファイバ、光導波路を逆行するということではない。反射光は、波長フィルタの傾き角 Θ の2倍、 2Θ だけ光軸に対して傾斜しているから放射モードになって散逸してしまうからである。必要な波長の光は、波長フィルタを透過しているから、これを大きい受光径の受光素子で受光すればよい。この受光素子が広い感度域を持っていたとしても、透過光はすでに単一波長になっているのだから、混信の恐れはない。

【 0 0 2 6 】

【発明の実施の形態】

本発明は、伝送媒体の終端部或いは中間部に、波長フィルタを斜めに密着させ波長フィルタによって固有波長だけを透過させ受光素子に導くようにした。

【 0 0 2 7 】

伝送媒体というのは光ファイバあるいは光導波路のことである。光ファイバというのは屈折率の高いコアの周囲を屈折率の低いクラッドで囲んだ円形断面の伝

送媒体である。石英シングルモード光ファイバの場合は、コア径が $10\mu\text{m}$ 、クラッド径が $125\mu\text{m}$ である。石英光ファイバの場合、コアはGeなどをドーピングして SiO_2 よりも屈折率を上げるようしている。光ファイバの場合は、基板にV溝を刻んでここにファイバを挿入固定する。

【0028】

光導波路の場合は、基板の上に、 SiO_2 の下クラッド層（アンダークラッド層）、上クラッド層（オーバークラッド層）の間に、直線状のコアを挟み込んだものである。コアは SiO_2 に屈折率を上げる不純物、たとえばGeをドーピングしたものである。屈折率の高いコアの中を光が伝搬する。

【0029】

本発明は、波長フィルタを伝送系の終端か中間に取り付ける。終端の場合は光ファイバ、光導波路の終端を斜面にし、ここに波長フィルタを密着固定させる。密着固定するため接着剤が必要である。この接着剤は透明であって、しかも光ファイバ或いは光導波路とほぼ等しい屈折率を持つ接着剤が好適である。しかし接着剤層はごく薄いから透明でさえあれば屈折率が少々異なってもそれほど問題にならない。接着剤層で光が角度分散する恐れがあまりないからである。伝送媒体の端部に固定するため伝送媒体と受光素子の間に空隙が必要である。しかし空隙で光が広がるのは好ましくないから、空隙部分には、伝送媒体に近似した屈折率の透光性樹脂を充填するのがよい。

【0030】

伝送系の中間部に波長フィルタを挿入する場合は、斜めの溝を切りこの溝の中へ波長フィルタを挿入固定する。その場合も透光性接着剤を用いて接着する。接着剤の分だけ空隙が生ずるが、透光性樹脂の屈折率が伝送媒体の屈折率と近似する場合は殆ど角度分散はない。光線の角度が殆ど変わらないので波長フィルタを通過した光は再び伝送媒体に入ることができる。これについては後に説明する。

【0031】

基板は、Si単結晶基板、GaAs単結晶基板、InP単結晶基板など半導体単結晶基板を用いることができる。その場合は溝などの構造物を異方性エッチン

グ、等方性エッチングなどによって形成することができる。プラスチック基板、セラミック基板、ガラス基板なども用いることができる。これらの基板は安価で扱い易い。溝などは機械的手段によって形成することができる。

【0032】

波長フィルタは軸線に直角に取り付けると反射光が強いときは光源である反対側にあるLDに反射光が戻りLDを不安定化する。それは好ましくないから、反射光が戻らないように波長フィルタ取付面、溝を傾斜角度 Θ だけ傾斜させることが望ましい。傾斜角度 Θ は4度～12度程度である。波長フィルタは不要光を反射するが、反射光は光軸と 2Θ の角度をなす。コア屈折率を n_0 、クラッド屈折率を n_d とすると、伝搬可能な光線の傾きの臨界角が $\cos^{-1}(n_d/n_0)$ によって与えられる。反射光の傾き 2Θ が、臨界角 $\cos^{-1}(n_d/n_0)$ より大きければ、反射光は散逸（放射）モードになってクラッドを通過して外部へ出てゆき消滅する。

【0033】

$$2\Theta > \cos^{-1}(n_d/n_0) \quad (1)$$

【0034】

$\Theta = 4$ 度は、この不等式を満たす。上限の12度というのは光学的に言えば絶対的なものではない。余りに傾斜がきついと基板に傾斜溝や端部を加工するのが技術的に難しいというだけのことである。

【0035】

波長フィルタはガラス、プラスチック（ポリイミドなど）などの基材の上に多数の誘電体多層膜を積層したものである。多層膜の屈折率、厚みを様々に組み合わせることによって所定の波長だけを透過したり、反射したりすることができる。選択性を高めるには層の数を増やすのが有効である。本発明の場合は8波とか16波とかから、1波を選び出すのであるが、波長間隔 Δ が 3.2 nm とごく小さいので層の数はかなり多くなる。誘電体層に1、2、 \dots i \dots 、 s と番号を付け、 i 層の厚みを d_i 、屈折率を n_i とし、屈折角を θ_i とし、 i 層と $(i+1)$ 層での反射率を r_i 、透過率を t_i （ $t_i + r_i = 1$ ）としたとき、 i 層での位相の遅れは光路長の差（往復分） $2n_i d_i \sec \theta_i$ を波長 λ で割って 2π を掛

けて、 $4\pi j n_i d_i \sec \theta_i / \lambda$ によって与えられる。合計の反射 $R_t(\lambda)$ は

【0036】

【数1】

$$R_t(\lambda) = \sum_{k=0}^s t_0 t_1 t_2 \cdots t_{k-1} r_k \exp \left(\sum_{i=1}^k \frac{4\pi j n_i d_i \sec \theta_i}{\lambda} \right) \quad (2)$$

【0037】

によって与えられる。 j は虚数単位である。 r_0 、 t_0 は透光性樹脂と波長フィルタ境界での反射、透過を示し、 $d_0 = 0$ とおくべきである。 r_0 、 t_0 は透光性樹脂の屈折率にも依存する。ここでは吸収がないものとしているが波長フィルタ材料としては吸収のない材料を使うべきである。吸収がある場合でも n_i として複素屈折率を用いれば同じ式によって表現できる。 r_i 、 t_i ともに、隣接誘電体の屈折率と光線傾斜角によって決まる。上記は反射の式であるが、透過の式をも同様に作ることができる。

【0038】

光線の i 層での傾斜角 θ_i は、波長フィルタの傾きを Θ 、光伝送路（光ファイバ、光導波路）の屈折率を n_0 として、スネルの法則

【0039】

$$n_0 \sin \Theta = n_i \sin \theta_i \quad (3)$$

【0040】

によって決まる。 Θ は波長フィルタ取付面、溝の傾斜角であり4度～12度だと述べた。 n_0 、 n_i は材料によって決まるから θ_i も容易に決まる。上記に述べたものは一般式であり、様々の自由度を含んでいる。設計者は都合の良い拘束条件を追加して誘電体多層膜の構造を決定することができる。固有波長を通し余波長を反射するのであり、

【0041】

m 波よりなる多重波長を λ_1 、 λ_2 、 \cdots 、 λ_j 、 \cdots 、 λ_m として、 j 番目の波長フ

フィルタは、固有波長 λ_j に対して、

【0042】

$$R_t(\lambda_j) = 0 \quad (4)$$

【0043】

である。 $(m-1)$ の余波長に対しては

【0044】

$$R_t(\lambda_1) = 1, \dots, R_t(\lambda_{j-1}) = 1, R_t(\lambda_{j+1}) = 1, \dots, R_t(\lambda_m) = 1 \quad (5)$$

【0045】

とるように決める。(5)において全部の式が1になるには極めて多数の層 m の組み合わせの極限を想定しなければならない。それは困難であるから1に近いある値までゆけばよいというようにする。その評価は波長間隙 Δ による。誘電体多層膜による波長フィルタの設計は本発明の目的でないからこれ以上詳しく説明しない。

【0046】

受光素子は、どのようなPDをも用いることができる。裏面入射型PD、上面入射型PD、端面入射型PD、導波路型PDなど、どのようなPDを受光素子としても用いることができる。

【0047】

波長フィルタを出たあと、PDへ光を導くための経路がPDの種類によって異なる。裏面入射型PDの場合は伝送路とPDの間に、光路変換溝を穿ち、光路変換溝を跨ぐように裏面を下にしてPDを実装し、伝送路から出た光を一旦光路変換溝で反射させて裏面からPDに導入する。上面入射型PDの場合は伝送路とPDの間に、光路変換溝を穿ち、光路変換溝を跨ぐように裏面を上にしてPDを実装し、伝送路から出た光を一旦光路変換溝で反射させて上面からPDに導入する。端面入射型PD、導波路型PDの場合は、伝送媒体のすぐ終端にこれらのPDを設けて伝送媒体を出た光が直進してPDの端面から入るようにする。その場合光路変換溝は不要である。

【0048】

どのような場合でも、伝送媒体（光ファイバ、光導波路）、波長フィルタ、P D間は、透光性樹脂によって覆う必要がある。一つは、後に不透明樹脂で全体を覆うから光路がこれによって閉塞されないためである。もう一つは、光線の発散角を小さくしてP Dへの入射光を増やすためである。さらには境界面での反射を減少させることである。

【0049】

発散角減少、反射減少の為には、透光性樹脂の屈折率は伝送媒体の屈折率に近似するものとする。透光性樹脂には境界面での反射の低減という目的と、光線の発散を防ぐという目的と、偏向角（屈折角）を小さくするという目的がある。これらについて簡単に説明する。光伝送路の屈折率を n_0 とし、透光性樹脂の屈折率を n_r とする。空気（真空）の屈折率は1である。

【0050】

二つの媒質の境界面で直角入射の場合の反射率Rは、屈折率差を屈折率の和で割った値である。だから伝送媒体（ n_0 ）と透光性樹脂（ n_r ）の間の反射率 R_{0r} は

【0051】

【数2】

$$R_{0r} = \frac{n_0 - n_r}{n_0 + n_r} \quad (6)$$

【0052】

によって与えられる。これは n が複素数でも成立する。これは振幅反射であり、この二乗が反射パワーを与える。伝送媒体（ n_0 ）と空気の境界での反射率 R_{0a} は

【0053】

【数 3】

$$R_{0a} = \frac{n_0 - 1}{n_0 + 1} \quad (7)$$

【0054】

である。 n_r は 1 より大きいから、伝送媒体と透光性樹脂の境界の反射率は伝送媒体が空気や真空中に接する場合に比べて小さい。 n_r を n_0 に近いものを選ぶとさらに小さい値となる。たとえば $n_0 = 1.46$ 、 $n_r = 1.5$ とすると、 $R_{0r} = -0.013$ 、 $R_{0a} = 0.186$ となる。これの二乗が反射パワーであるから、その比はずいぶん小さい。

【0055】

次に透光性樹脂がビーム発散角を減少させるということについて述べる。先ほど光ファイバから空気中に光を取り出すと NA (numerical aperture) で広がるということを述べた。これは広がり角を θ で表現すると

【0056】

$$NA (\text{空気中}) = \sin \theta = \{n_0^2 - n_d^2\}^{1/2} \quad (8)$$

【0057】

によって与えられる。 n_0 は伝送路コア屈折率、 n_d はクラッド屈折率である。これは空気中に取り出した場合であるが、屈折率が n_r の透光性樹脂の中に取り出した場合は、広がり角を θ' として、

【0058】

$$NA (\text{樹脂中}) = \sin \theta' = \{n_0^2 - n_d^2\}^{1/2} / n_r \quad (9)$$

)

【0059】

となる。たとえば n_r が 1.5 だとすると、広がり角 θ' は約 $1/1.5$ に減少する。立体角に換算すると約半分ということになる。これは光ファイバや光導波路から透光性樹脂に出るときにビームが広がらないということである。

【0060】

それだけでなく式(9)の性質は本発明において本質的な重要性を持っている。光ファイバ・光導波路に、波長フィルタを直接に接合した場合にNAは波長フィルタの屈折率によって決まることになる。波長フィルタの誘電体の屈折率は一様でないが基材を含めた平均屈折率を n_f とすると、式(9)の右辺の分母が n_f によって置き換えられたものが波長フィルタでのNAとなる。波長フィルタでの広がり角 θ'' を与えることになる。

【0061】

$$NA(\text{波長フィルタ}) = \sin \theta'' = \{n_0^2 - n_d^2\}^{1/2} / n_f \quad (10)$$

光ファイバ、光導波路に、波長フィルタを密着させるとNAが $1/n_f$ に減少してしまうから光線傾きが小さく波長選択性に狂いが生じないというわけである。基材が波長フィルタの厚みの大部分をなすので n_f は基材の屈折率と大体等しいとして良い。

【0062】

次に境界面での偏向角を減らすという点について述べる。境界面が Θ だけ傾斜しているとする。その場合、相手が空気だとすると、境界面での光線の曲がり角 Φ (空気)は、

【0063】

$$\Phi(\text{空気}) = \sin^{-1}(n_0 \sin \Theta) - \Theta \quad (11)$$

【0064】

となる。これはかなり大きい角度である。ところが境界面の外が屈折率 n_r の透光性樹脂だとすると、境界面での光線の曲がり角 Φ (透光性樹脂)は、

【0065】

$$\Phi(\text{透光性樹脂}) = \sin^{-1}(n_0 \sin \Theta / n_r) - \Theta \quad (12)$$

【0066】

となる。例えば $\Theta = 8^\circ$ 、 $n_0 = 1.46$ 、 $n_r = 1.50$ とすると、 $\Phi(\text{空気}) = 3.7^\circ$ 、 $\Phi(\text{透光性樹脂}) = -0.2^\circ$ となる。波長フィルタが 8° で傾いている場合、波長フィルタから空気中に出る場合は 3.7° も端面傾きの方向

に曲がる。しかし波長フィルタと透光性樹脂境界面では光線は殆ど曲がらない（偏向しない）ということである。

【 0 0 6 7 】

【実施例】

〔実施例 1（光ファイバ；波長フィルタ終端接着；図 3、図 4）〕

図 3、図 4 に本発明の第 1 の実施例にかかる光受信器を示す。直方体形状の Si 基板 2 0 の上には縦方向に光路変換溝 2 1 と V 溝 2 2 が穿たれている。V 溝 2 2 は前端面から中央にかけて伸び、光路変化溝 2 1 は中央から後半部にかけて伸びている。いずれも中心軸線上にあるが途中で横溝 2 9 によって分断されている。V 溝 2 2 には光ファイバ 2 3 が挿入固定される。V 溝 2 2 のために光ファイバの調芯が不要になる。V 溝 2 2 は異方性エッチングによって形成できる。機械的手段によって穿つこともできる。横溝 2 9 も、エッチング、機械加工によって穿つことができる。

【 0 0 6 8 】

基板 2 0 の上には PD 実装のための電極パターン（メタライズ）が印刷されているが、ここでは図示を略した。光路変換溝 2 1 の終端部にまたがるように受光素子 2 4 を Si 基板 2 0 のパターンに接着している。この受光素子 2 4 は裏面入射型 PD であって上面に受光部 2 5 があり底面からビームを導入するようになっている。光路変化溝 2 1 はこの例では 3 面よりなる。傾斜端面 2 6 と両側の側面 2 7、2 8 である。重要なのはミラー面としての傾斜端面 2 6 である。傾斜端面 2 6 のすぐ上に PD 2 4 の底面が位置する。

【 0 0 6 9 】

横溝 2 9 は V 溝 2 2 と光路変換溝 2 1 の間にあって、軸と直交する方向に穿たれた溝である。これは光ファイバ 2 3 の終端面の近くに Si 基板の傾斜面を形成するための溝である。この傾斜面を波長フィルタ固定面 3 0 と呼ぶ。この傾斜面と光ファイバ端面は研磨などによって面一にすることもできる。光ファイバ端面と傾斜面の傾き角 θ は 4 度～12 度とする。光ファイバ端面の前方において波長フィルタ固定面 3 0 に波長フィルタ 3 2 を密着固定する。波長フィルタも傾斜角 θ で傾いている。従って波長フィルタはこの傾斜角で入射した光線に対して固有

波長 λ_j を通過するように設計する。この傾斜は反射光が光ファイバ内に戻らないようにするためのものである。反射角は 2θ になるが、これは光ファイバの伝搬モードにならず散逸してしまう。受光素子24、光路変換溝21、波長フィルタ32、光ファイバ23の終端部を光ファイバに近似した屈折率をもつ透光性樹脂34で覆う。これは境界面での屈折角を小さくし反射を押さえるという幾何光学的意味がある。それに素子やフィルタを保護するという物理的な目的もある。後で不透明の樹脂で全体を覆うが、それによって光路が閉鎖されないようにするという目的もある。

【0070】

このような基板をリードフレーム（図示しない）に固着して、リードと基板の電極をワイヤボンディングで接続して、全体をエポキシ樹脂によって強固にモールドする。プラスチックパッケージの外にリードピンと光ファイバが突出したような素子が製造される。

【0071】

以上の構成をもつ光受信器の作用を述べる。光ファイバ23は外部の光ファイバ（図示しない）と光コネクタによって結合している。外部光ファイバから光ファイバ23を信号光（受信光）が伝搬してくる。多重伝送システムであるから、光ファイバを伝搬する受信光は、全部の波長を含む集合光 Λ である。波長フィルタ32は固有波長 λ_j だけを通し、余波長をすべて反射してしまう。

【0072】

波長フィルタ32は光ファイバ23に密着しており、波面が広がらない前に波長分離してしまう。だからレンズもコリメータも不要である。固有波長の光は波長フィルタ32を経て、 B_1 、 B_2 、 B_3 のような光線になり、透明樹脂34を通過して傾斜端面26で反射され、裏面から受光素子24に入り受光層25に至って光電流を発生する。この光電流が受信信号である。

【0073】

次に製造方法を述べる。厚み1.0 mmの（100）面を有するSi単結晶板の上にフォトリソグラフィ技術によって、1チップに対応する長さ3 mm、幅1.5 mmの基本パターンの繰り返しを形成し、それぞれの基本パターンに光ファ

イバ固定用V溝と光路変換溝をエッチングによって形成する。さらにSi基板表面の受光素子を搭載すべき部位に、厚さ $1\mu\text{m}$ の SiO_2 絶縁層を設ける。さらにメタライズによって、受光素子をボンディングすべきCr-Au電極を形成する。

【0074】

次にダイシングによって横溝29を切り波長フィルタ固定面30を形成する。波長フィルタ固定面30と光ファイバ23の先端は、光軸垂直面に対して4度～12度程度傾いているようにする。好ましくは傾斜角 Θ を8度とする。これは光源であるLDへの反射戻り光を消滅させるためである。このようなことをウエハの段階で行う。チップごとの加工が終わると、ウエハを縦横に切断し、多数枚の $3\text{mm}\times 1.5\text{mm}$ のチップ(Si基板)を得る。この後はチップ毎の製造工程になる。

【0075】

ここで用いた受光素子は、 $500\mu\text{m}\times 500\mu\text{m}\times 300\mu\text{m}$ の裏面入射型InGaAsフォトダイオード(PD)である。 $1.3\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$ 帯光に及ぶ広い感度領域を持っている。Au-Snなどの半田によって、Si基板上の所定のメタライズ面にPDを固定する。次に先端が波長フィルタ固定面に合致するように光ファイバをV溝に挿入しエポキシ系樹脂によって固定する。ファイバ先端と波長フィルタ固定面に、波長フィルタ32を斜めに接着する。先述のように傾斜角 Θ は4～12度である。

【0076】

この波長フィルタは傾斜角 Θ で入射する所望の波長だけを透過する選択性をもつ。ここでは、中心波長が 1546.2nm である波長フィルタを取り付けた。この波長フィルタはポリイミド基板の上に誘電体多層膜を蒸着したものである。波長フィルタ32は $100\mu\text{m}$ の厚みを有する。縦横の寸法は $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ である。誘電体層の数が多いほど波長選択性が鋭くなる。隣接波長との相違が 3.2nm と極めて小さいので層の数が多く誘電体多層膜の厚みが増える。

【0077】

この後、光ファイバに近い屈折率を有するシリコン系の透光性樹脂によって

、光路変換溝、光ファイバ先端、受光素子の表面までを覆う。透光性樹脂は、フィルタ端面や受光素子の入射面での光反射を低減し、各部品を保護するという二重の作用がある。

この組立工程には、従来の立体型のPDモジュールなどにはない数々の利点がある。まず、電気を流したり、光信号、電気信号をモニタしたりする必要が全くないパッシブアライメント技術によって短時間に組み立てられるという事である。

【0078】

全ての部品がSi基板上に平面的に並べられ、かつ光ファイバはエッチングで位置精度良く形成されたV溝に落とし込むだけで正確に位置決めされる。微調整のようなものが不要である。受光素子(PD)も前もって高位置精度で形成された電極パターンに合わせてボンディングするだけでよい。それによって光ファイバからの出射光を全て受光できる位置に固定される。

【0079】

従来例①に比較して本発明の装置は、非常に短時間で実装できる。部品点数が少なく、低コストで安定した生産が可能になる。

【0080】

装置の主要部はSi基板で決まり、例えば長さ3mm×幅1.5mmのSi基板に全ての部品を取り付け極めて小さい装置とすることができる。高さは、Si基板の厚み1.0mmにSiO₂層厚み、メタライズ厚み、受光素子厚み、樹脂の厚みなどを全て足し合わせても3mm以下にできる。これをリードフレームに固定しても4mm程度の高さにしかない。

【0081】

このようにして製造された光受信器では、中心波長1546.2nmでの感度を0dBとすると、-20dB減衰する波長全幅 δ は約3nmであった。これは波長フィルタの特性によって決まる値である。つまり波長フィルタの波長選択性がさらに向上すれば-20dB減衰波長全幅 δ は3nmよりも狭くなる可能性がある。この例では多重波長信号の波長間隔 Δ が3.2nmとしているから、-20dB減衰波長全幅 δ が3nmであれば($\delta < \Delta$)光学的クロストークはない筈

である。

【 0 0 8 2 】

- 2 0 d B 減衰波長全幅 δ というのは、中心波長の左右で中心波長でのパワーより - 2 0 d B (強度比: 1 / 1 0) 減少する波長の差を意味する。もしも波長分布対称で $\delta = 3 \text{ nm}$ とすると、1 5 4 4 . 7 nm と 1 5 4 7 . 7 nm で - 2 0 d B だけ減少するということである。

【 0 0 8 3 】

[実施例 2 (光導波路; 波長フィルタ終端接着; 図 5、図 6)]

図 5、図 6 は実施例 2 を示す。実施例 1 と異なる点は、光ファイバの代わりに、Si 基板上に SiO₂ 系の光導波路を形成し、その終端面に波長フィルタを接着したところである。光ファイバを使わないので V 溝は不要である。光ファイバ固定の手間も不要である。

【 0 0 8 4 】

平坦な長形状 Si 基板 2 0 の中心軸線上で中間部から光路変換溝 2 1 を穿っている。光路変換溝 2 1 は傾斜端面 2 6、側面 2 7、2 8 よりなる。反射率を上げるために金、Al など を被覆してある。光路変換溝 2 1 の傾斜端面 2 6 のすぐ上に受光素子 (PD) 2 4 が取り付けられている。これも裏面入射型の PD である。上面入射型の PD をエピダウンで取り付けても良い。ここまでは実施例 1 と同様である。

【 0 0 8 5 】

Si 基板の前方には信号を導くための光導波路 3 5 が形成してある。これは SiO₂ よりなるアンダークラッド層 3 6 と、屈折率が高い (例えば Ge ドープ SiO₂) コア 3 7 と、SiO₂ よりなるオーバークラッド層 3 8 を基板の上に積層したものである。光導波路 3 5 の終端には横溝 2 9 が形成される。横溝 2 9 の底面は、光路変換溝 2 1 の底稜線と同じ高さであってもよいし異なっても良い。横溝 2 9 を穿つのはエッチングでもダイシングでもよい。横溝 2 9 は傾斜した面 (波長フィルタ固定面 3 0) を光導波路の終端に作るために穿つのである。

【 0 0 8 6 】

光導波路の傾斜した端面 3 1 に誘電体多層膜よりなる波長フィルタ 3 2 を張り付ける。外部からの信号を伝搬させてきた光ファイバの端は、光導波路 3 5 の先端に張り付けるようにする。光導波路 3 5 の終端部、波長フィルタ 3 2、光路変換溝 2 1、受光素子 (PD) 2 4 は透光性樹脂 3 4 によって覆う。Si 基板をリードフレームに接合してエポキシ樹脂によってモールドして完成した素子とする。

【 0 0 8 7 】

外部の光ファイバから集合光 Λ が光導波路 3 5 へ入り波長フィルタ 3 2 によって固有波長だけが取り出され余波長は全て反射される。波長フィルタ 3 2 が光導波路 3 5 に密着しているからコリメータやレンズはいらない。波長フィルタが傾いているから余波長は全部放射してしまい光ファイバに戻ることはない。固有波長の光線 B_1 、 B_2 、 B_3 は光路変換溝 2 1 の傾斜端面 2 6 で反射され PD 2 4 に入る。この光電流が受信信号である。

【 0 0 8 8 】

この光導波路 3 5 は例えば、Si 基板の上に $10\mu\text{m}$ 厚みのアンダークラッド層 (例えば SiO_2) 3 6 を設け、その上に $6\mu\text{m}$ 角のコア (例えば Ge-SiO_2) 3 7 を直線状に形成し、さらに厚さ $10\mu\text{m}$ のオーバークラッド層 (例えば SiO_2) 3 8 によって覆ったものである。全体の厚みは $20\mu\text{m}$ であり基板の中心線に沿ってコアによる導波路が存在し、これを信号光が伝搬するようになっている。

【 0 0 8 9 】

光導波路 3 5 はウエハプロセスによって Si 基板全面に容易に形成することができる。チップに切り出してから光ファイバ固定の手間がいらないから、実装時間がより短縮される。

【 0 0 9 0 】

[実施例 3 (光ファイバ; 波長フィルタ中間介装; 図 7、図 8)]

図 7、図 8 は実施例 3 を示す。実施例 1 と同様に V 溝を Si 基板に設け、V 溝に光ファイバを固定する。光ファイバの途中に斜めのスリット (波長フィルタ固定溝) を形成して、ここに波長フィルタを挿入したものである。

【 0 0 9 1 】

矩形形状の基板 2 0 の上に中心軸線の方に光路変換溝 2 1 と、V 溝 2 2 が穿たれる。光路変換溝 2 1 は金属被膜で被覆し反射率を上げる。傾斜端面 2 6 のすぐ上に P D 2 4 をボンドする。前方の V 溝 2 2 には光ファイバ 2 3 を挿入固定する。端面は斜めに研磨する。これは反射戻り光が L D に戻らないためである。さらに横方向に傾斜した波長フィルタ固定溝 3 9 を光ファイバの中間部を横切るように加工する。光ファイバが一部切断される。ここに波長フィルタ 3 2 を差し込んで固定する。波長フィルタ 3 2、光路変換溝 2 1、P D 2 4 は、透光性樹脂 3 4 によって覆われる。さらに基板をリードフレームに付け、電極とリードをワイヤボンディングで接続して、エポキシ樹脂などでモールドして素子として完成させる。

【 0 0 9 2 】

実施例 1 のように光ファイバの終端でなくて中間に波長フィルタを挿入している。波長選択性は同様であるが、中間に波長フィルタを入れているから、より安定する。波長フィルタが $50\ \mu\text{m}$ 厚みの時は、波長フィルタ固定溝幅は $55\ \mu\text{m}$ ~ $60\ \mu\text{m}$ とする。波長フィルタ厚みが $100\ \mu\text{m}$ の場合は、波長フィルタ固定溝幅は $105\ \mu\text{m}$ ~ $110\ \mu\text{m}$ とする。波長フィルタを挿入した後、ファイバと同等の屈折率をもつ透光性樹脂によって波長フィルタと光ファイバ、溝との間隙を覆う。

【 0 0 9 3 】

シングルモードファイバのコア径は $10\ \mu\text{m}$ であり、波長フィルタ厚みが $100\ \mu\text{m}$ とするから、 4° ~ 12° も傾けた波長フィルタを透過した光は再びコアに戻れるのか？そのような懸念が兆すことであろう。

【 0 0 9 4 】

図 1 5 はコア径 c 、コア屈折率 n_0 のシングルモードファイバの途中に、厚み F 、屈折率 n_f の波長フィルタを傾斜角 Θ で挿入したものの拡大図である。これによって光線の波長フィルタの反対側でのズレの量を計算する。光は左から右へ進行する。K O M N が光ファイバ軸線を示す。K O と進んできた光が、光ファイバコア端面の中心点 O から波長フィルタに入り O Q の方向に屈折したとする。境

界面に立てた法線がHOPSであるとする。Pが波長フィルタ他端面と法線の交点である。OP=Fが波長フィルタ32の厚みである。

【0095】

コアを進む光KOが、境界点Oで反射されたとする（余波長は波長フィルタで全部反射される）とORの方向に進むが、これは光軸と 2Θ をなすからクラッドへ突き抜けて散逸する。屈折光はOQであるが、 $\angle KOH = \Theta$ 、 $\angle QOM = \Phi$ とする。 $\angle POQ = \Theta - \Phi$ である。スネルの法則により

【0096】

$$n_0 \sin \Theta = n_f \sin (\Theta - \Phi) \quad (13)$$

【0097】

が成り立つから、

【0098】

$$\Phi = -\sin^{-1} (n_0 \sin \Theta / n_f) + \Theta \quad (14)$$

【0099】

である。光ファイバの屈折率を $n_0 = 1.46$ として、波長フィルタの全体の屈折率が正確に分からないから主体をなすポリイミド基板の屈折率（1.52）を n_f とすると、 $n_f = 1.52$ である。 $\Theta = 4^\circ$ 、 8° 、 12° に対して、

【0100】

$$\Phi (4^\circ) = 0.158^\circ \quad (15)$$

$$\Phi (8^\circ) = 0.318^\circ \quad (16)$$

$$\Phi (12^\circ) = 0.480^\circ \quad (17)$$

【0101】

である。波長フィルタの厚みFを $100 \mu\text{m}$ としても、光線のコア軸心からのずれMQは、 $0.27 \mu\text{m}$ （ 4° ）、 $0.56 \mu\text{m}$ （ 8° ）、 $0.84 \mu\text{m}$ （ 12° ）にすぎない。コア半径は $5 \mu\text{m}$ であるから、O点から波長フィルタに入った光は波長フィルタの他端Qでもコア（MN）から殆どずれないということである。つまり波長フィルタがあっても通過光（固有波長）は再び光ファイバの伝搬光となりうるということである。

以上の考察で得られた式（15）（16）（17）の値は斜めに挿入されたフ

ィルタへの入射角度の補正值となり、より厳密には⑨にこの補正值を加味した角度でフィルタに形成する多層膜の厚み設計を行うと良い。

【 0 1 0 2 】

[実施例 4 (光導波路 ; 波長フィルタ中間介装 ; 図 9、図 1 0)]

図 9、図 1 0 は実施例 4 を示す。

基板 2 0 の上に光導波路 3 5 を設け、軸線方向に光路変換溝 2 1 を穿ち、光路変換溝 2 1 の上に P D をまたがらせるという点はこれまでと同様である。光導波路 3 5 の中間部に軸線と直交する方向に波長フィルタ固定溝 3 9 を機械加工によって穿っている。これも前後方向に 4 度 ~ 1 2 度傾いている。コアを横切る位置で波長フィルタ固定溝 3 9 の中へ波長フィルタ 3 2 を挿入固定する。P D 2 4、光路変換溝 2 1、波長フィルタ 3 2、光導波路の終端部は透光性樹脂 3 4 で覆う。リードフレームに基板を取り付け、基板上の電極とリードをワイヤボンディングし、樹脂モールドして素子とする。

【 0 1 0 3 】

これは実施例 2 と同様に S i 基板 2 0 上に光導波路 3 5 を形成している。光導波路 3 5 の中間部に斜めの波長フィルタ固定溝 3 9 を設け、波長フィルタ固定溝 3 9 に波長フィルタを挿入したものである。実施例 2 のように光導波路の終端でなくて光導波路の中間に波長フィルタを挿入している。中間に波長フィルタを入れているから、より安定する。波長フィルタが $50\mu\text{m}$ 厚みの時は、波長フィルタ固定溝幅は $55\mu\text{m} \sim 60\mu\text{m}$ とする。波長フィルタ厚みが $100\mu\text{m}$ の場合は、波長フィルタ固定溝幅は $105\mu\text{m} \sim 110\mu\text{m}$ とする。波長フィルタを挿入した後、光導波路と同等の屈折率をもつ透光性樹脂によって波長フィルタと光導波路、溝との間隙を覆う。そのような点は実施例 3 と同様である。

【 0 1 0 4 】

光波長多重信号を含む受信光が外部の光ファイバから光導波路 3 5 に導かれる。波長フィルタ 3 2 はこれらの内、固有波長 λ_j だけを選んで透過させる。余波長の光は全部反射してしまう。斜めに反射するから余波長は放射してしまい、もとの経路を戻らない。固有波長の光は光導波路 3 5 の端面から出て光路変換溝 2 1 に入り傾斜面 2 6 で反射されて P D 2 4 に入る。P D は固有波長 λ_j だけを受

信する。

【 0 1 0 5 】

〔実施例 5（光導波路；波長フィルタ中間介装；コリメート系；図 1 1、図 1 2）〕

図 1 1、1 2 は実施例 5 を示す。基板 2 0 の上に光導波路 3 5 を設け、軸線方向に光路変換溝 2 1 を穿ち、光路変換溝 2 1 の上に P D をまたがらせるという点はこれまでと同様である。光導波路 3 5 の中間部に軸線と直交する方向に波長フィルタ固定溝 3 9 を機械加工によって穿っている。これも前後方向に 4 度～1 2 度傾いている。波長フィルタ固定溝 3 9 と交差する点から前後方向に光導波路 3 5 を削り取る。溝 3 9 の前後に空隙 4 0 を形成するのである。波長フィルタ固定溝 3 9 の中でコアを二分する位置に波長フィルタ 3 2 を挿入固定する。波長フィルタ 3 2 と、前後の光導波路 3 5 の間の空隙 4 0 に、コリメータ 4 1、逆コリメータ 4 2 を挿入する。コリメータ、逆コリメータがあるという点で従来例①と共通するが、コリメータ、逆コリメータともに十分に小さいものである。平行光にしてから波長分離するのである。

【 0 1 0 6 】

P D 2 4、光路変換溝 2 1、波長フィルタ 3 2、コリメータ 4 1、逆コリメータ 4 2、光導波路 3 5 の終端部は透光性樹脂 3 4 で覆う。リードフレームに基板を取り付け、基板上の電極とリードをワイヤボンディングし、樹脂モールドして素子とする。

【 0 1 0 7 】

実施例 2、4 と同様に基板上に光導波路を形成している。光導波路の中間部に斜めの波長フィルタ固定溝を設け、波長フィルタ固定溝に波長フィルタを挿入したものである。そこまでは実施例 4 と共通である。それに加えて波長フィルタの前後にコリメート系を挿入している。

【 0 1 0 8 】

波ファイバ固定溝と波長フィルタの間にはどうしても隙間が残る。短い隙間であるが光線が広がる。波長フィルタの特性によっては、光線の僅かな広がりによって、透過帯域の波長がずれるということもあり得る。そのような場合には、セ

ルフォックレンズやグレーディッドインデックスファイバのような光学部品をV溝に埋め込みコリメート系を構成すればよい。

このような構造でも本発明の小型、低コストという優れた特徴は損なわれない。

【0109】

[実施例6（光導波路；波長フィルタ中間介装；増幅器；図13、図14）]

図13、図14は実施例6を示す。基板20の上に光導波路35を設け、軸線方向に光路変換溝21を穿ち、光路変換溝21の上にPD24をまたがらせるという点はこれまでと同様である。ここではさらに、PD24の信号を増幅するための増幅器44を基板上に設けている。高速変化する微弱な光電流をすぐに増幅するので外部ノイズの影響を遮断することができる。実施例4と同じように導波路35の中間部に軸線と直交する方向に波長フィルタ固定溝39を機械加工によって穿っている。これも前後方向に4度～12度傾いている。波長フィルタ固定溝39の中へ波長フィルタ32を挿入固定し、光導波路35のコアを前後に二分する。

【0110】

増幅器44、PD24、光路変換溝21、波長フィルタ32、光導波路35の終端部は透光性樹脂34で覆う。リードフレームに基板を取り付け、基板上の電極とリードをワイヤボンディングし、樹脂モールドして素子とする。

【0111】

全ての波長を含む多重受信信号は、光導波路35のコアを伝搬してくる。波長フィルタ32によって、所望の固有波長 λ_j が選択透過される。余波長はここで反射される。反射角は 2θ になる。これは8度～24度あり光導波路を戻す事ができない。

【0112】

Si基板20の上に光導波路35を設けて、その中間部に波長フィルタ32を介装したところまでは実施例4と同様である。実施例6は受光素子(PD)24の光電流信号を増幅する増幅器44をSi基板20の上に搭載している。受光素子信号をすぐに増幅するのでノイズレベルを著しく低減することができる。隣接

する波長帯との重なりが問題となる裾野のあたりの波長選択性がより鋭くなる。

InGaAsの受光素子24と、GaAs-ICやSi-ICの増幅器44の組み合わせが有効である。

【0113】

【発明の効果】

本発明は、表面実装技術を生かした光受信モジュールにおいて、伝送媒体に波長フィルタを密着させることにより波長選択性を付与する。8波或いは16波など複数の波長信号を用いる波長多重光通信システムに最適な低コスト、小型の波長選択性光受信モジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

送信側と受信側にスターカプラを用いた波長多重光通信システムの構成図。

【図2】

村上泰典、高地正彦「簡易WDMシステムの開発（小型EDFA／光BPF内蔵光受信機の開発）」信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE、OCS99-60、p41-46(1999-09)に掲載された従来例①にかかる波長多重受信器の断面図。

【図3】

Si基板上に固定した光ファイバの終端に波長フィルタを設けた本発明の実施例1にかかる光受信器の縦断面図。

【図4】

Si基板上に固定した光ファイバの終端に波長フィルタを設けた本発明の実施例1にかかる光受信器の平面図。

【図5】

Si基板上に形成した光導波路の終端に波長フィルタを設けた本発明の実施例2にかかる光受信器の縦断面図。

【図6】

Si基板上に形成した光導波路の終端に波長フィルタを設けた本発明の実施例2にかかる光受信器の平面図。

【図7】

S i 基板上に固定した光ファイバの中間部に波長フィルタを設けた本発明の実施例 3 にかかる光受信器の縦断面図。

【図 8】

S i 基板上に固定した光ファイバの中間部に波長フィルタを設けた本発明の実施例 3 にかかる光受信器の平面図。

【図 9】

S i 基板上に形成した光導波路の中間部に波長フィルタを設けた本発明の実施例 4 にかかる光受信器の縦断面図。

【図 1 0】

S i 基板上に形成した光導波路の中間部に波長フィルタを設けた本発明の実施例 4 にかかる光受信器の平面図。

【図 1 1】

S i 基板上に形成した光導波路の中間部に波長フィルタを設け、その前後にコリメート系を挿入した本発明の実施例 5 にかかる光受信器の縦断面図。

【図 1 2】

S i 基板上に形成した光導波路の中間部に波長フィルタを設け、その前後にコリメート系を挿入した本発明の実施例 5 にかかる光受信器の平面図。

【図 1 3】

S i 基板上に形成した光導波路の中間部に波長フィルタを設け、受光素子信号を増幅する増幅器を追加した本発明の実施例 6 にかかる光受信器の縦断面図。

【図 1 4】

S i 基板上に形成した光導波路の中間部に波長フィルタを設け、受光素子信号を増幅する増幅器を追加した本発明の実施例 6 にかかる光受信器の平面図。

【図 1 5】

光ファイバの中間部に斜めに波長フィルタを挿入した場合に屈折光が再びコア伝搬光になることを説明するための光線図。

【符号の説明】

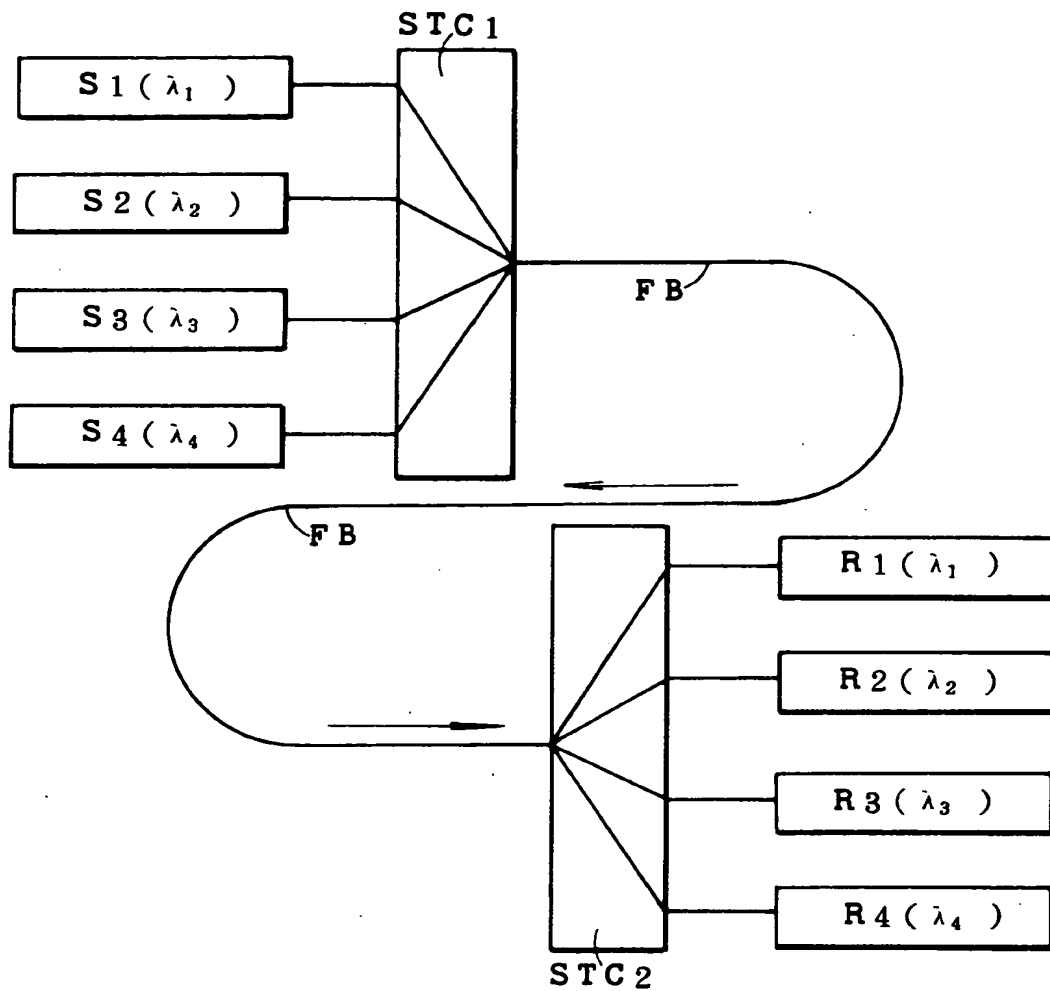
- 1 ステム
- 2 P D

- 3 レンズ
- 4 レンズホルダー
- 5 ハウジング
- 6 ホルダー
- 7 逆コリメータ
- 8 バンドパスフィルタ (B P F)
- 9 コリメータ
- 1 0 光ファイバ
- 1 1 フェルール
- 1 2 開口
- 2 0 基板
- 2 1 光路変換溝
- 2 2 V溝
- 2 3 光ファイバ
- 2 4 受光素子
- 2 5 受光部
- 2 6 傾斜端面
- 2 7 側面
- 2 8 側面
- 2 9 横溝
- 3 0 波長フィルタ固定面
- 3 1 光導波路端面
- 3 2 波長フィルタ
- 3 4 透光性樹脂
- 3 5 光導波路
- 3 6 アンダークラッド層
- 3 7 コア
- 3 8 オーバークラッド層
- 3 9 波長フィルタ固定溝

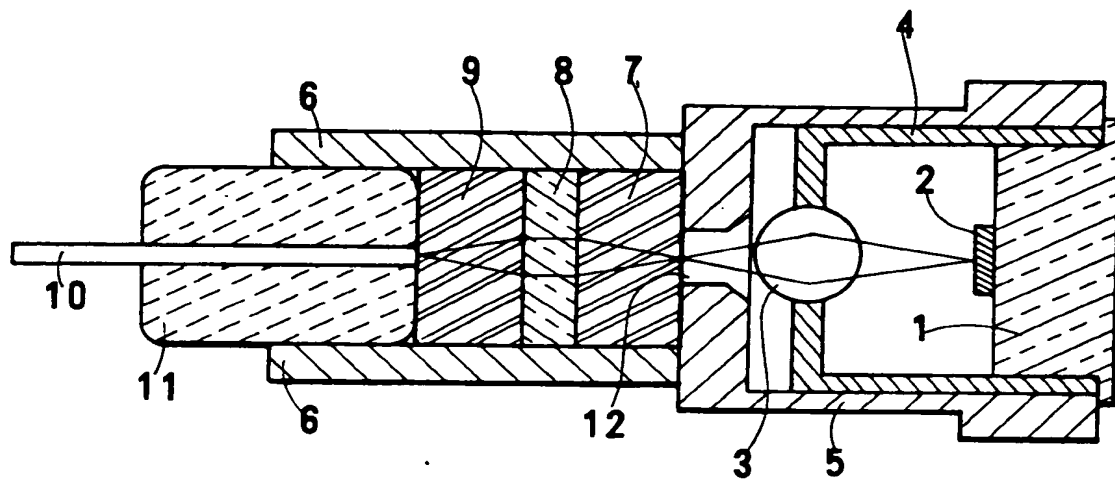
- 4 0 空隙
- 4 1 コリメータ
- 4 2 逆コリメータ
- 4 4 増幅器

【書類名】 図面

【図1】

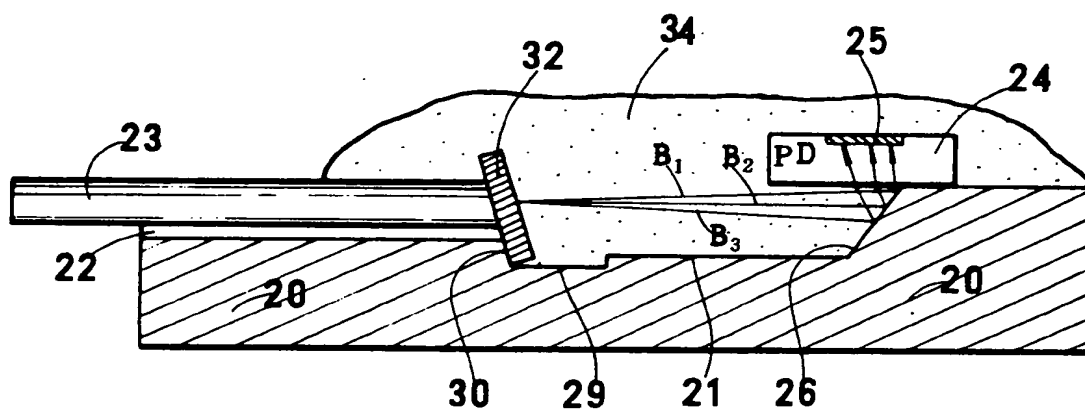


【図2】



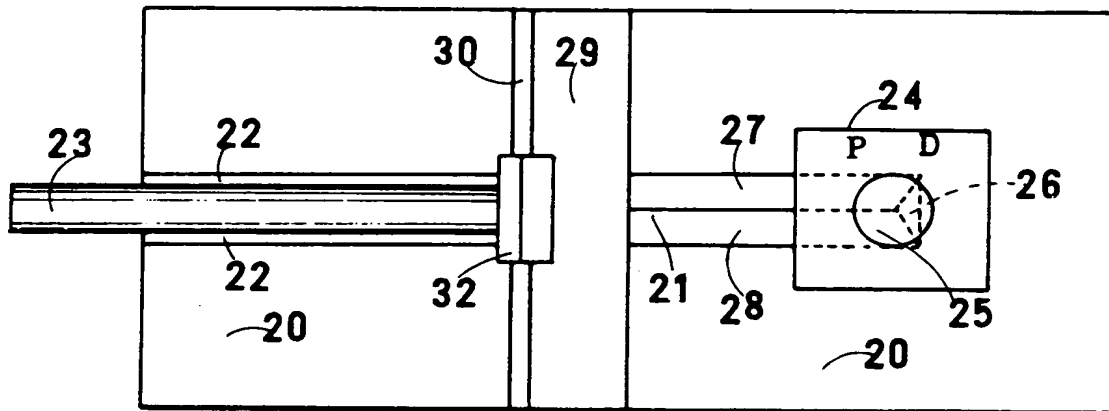
【図3】

実 施 例 1



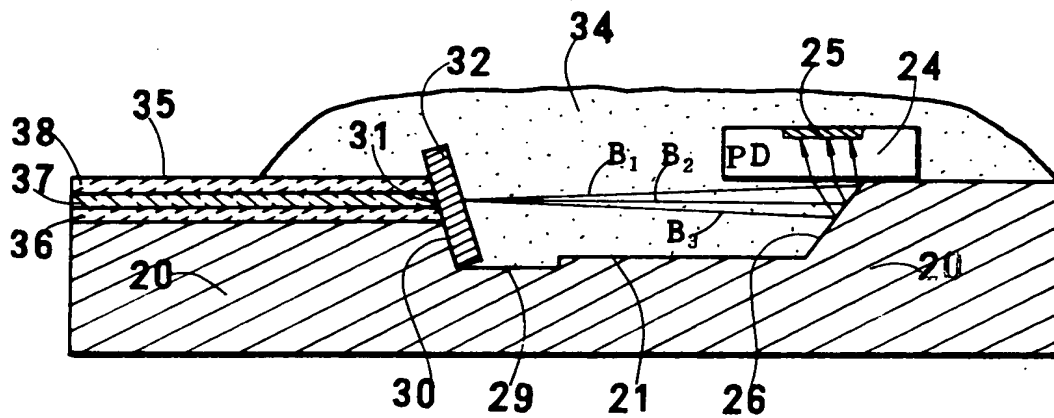
【図4】

实施例 1



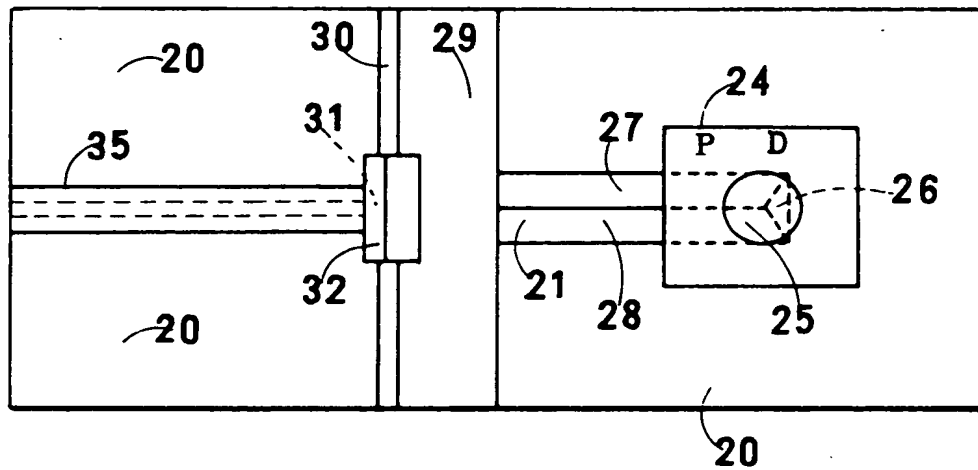
【図5】

实施例 2



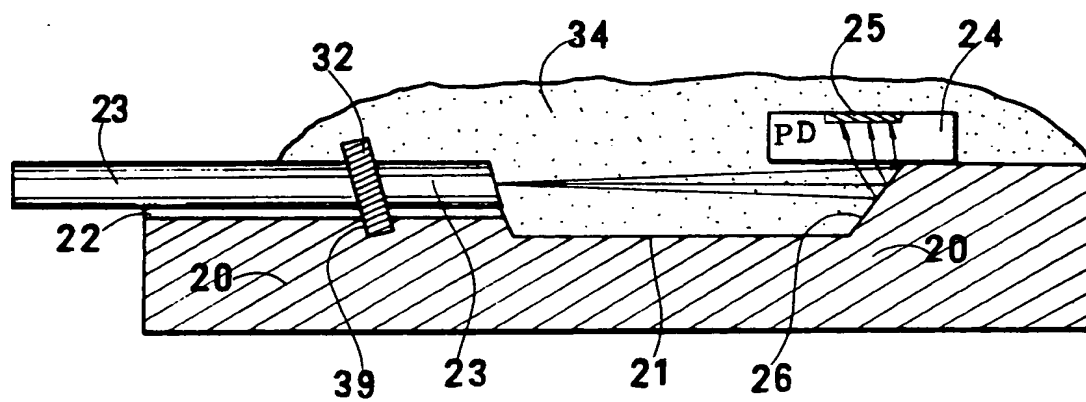
【図6】

実 施 例 2



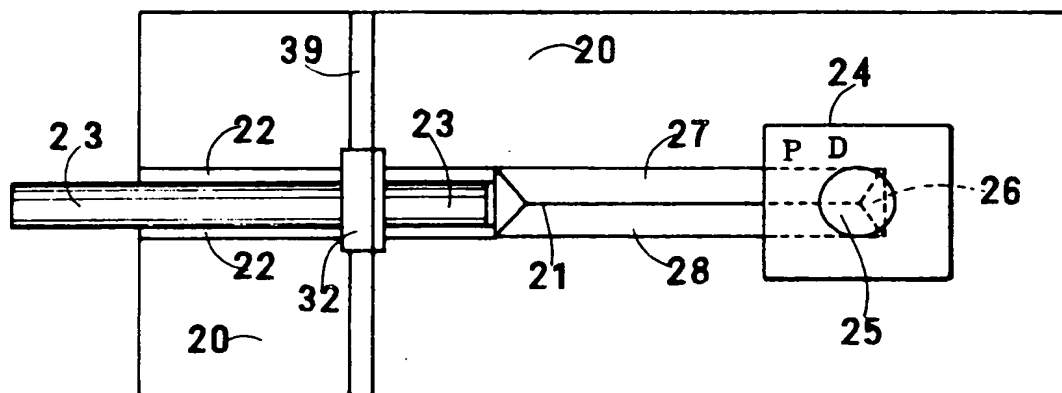
【図7】

実 施 例 3



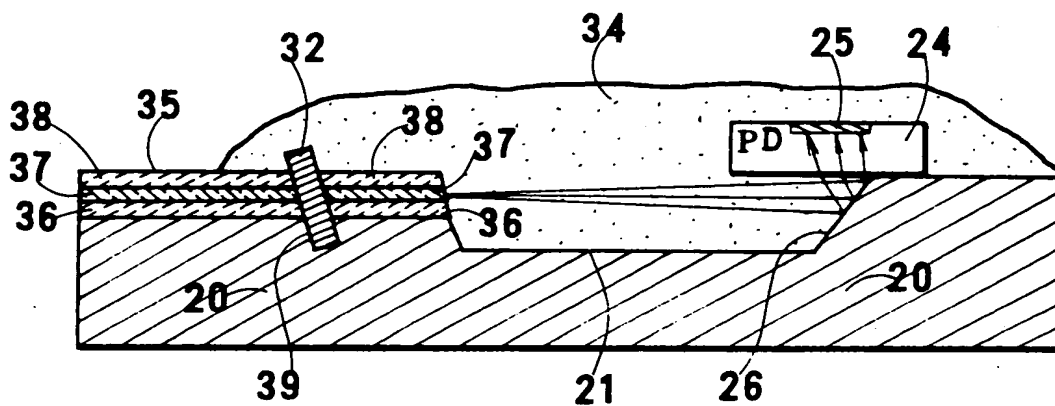
【図8】

実 施 例 3



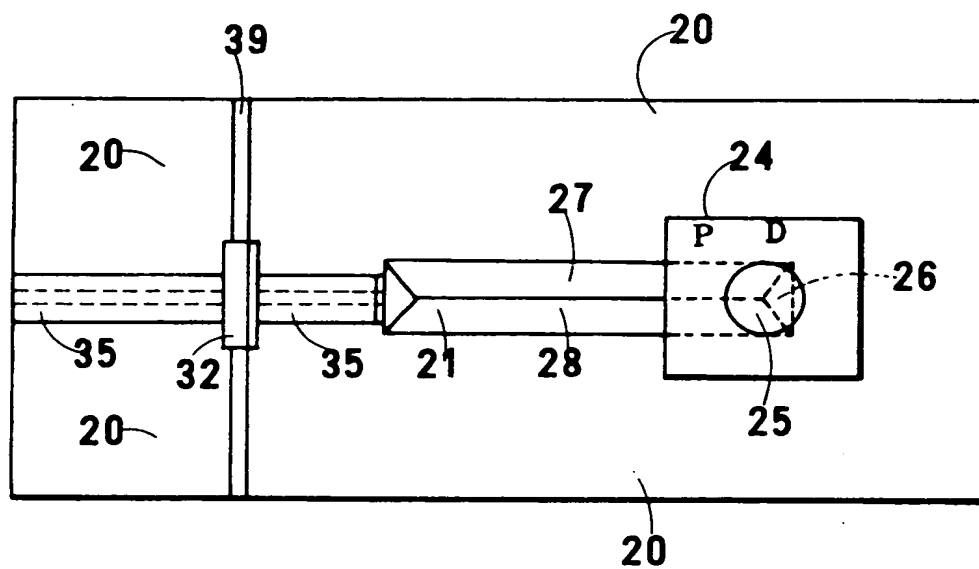
【図9】

実 施 例 4



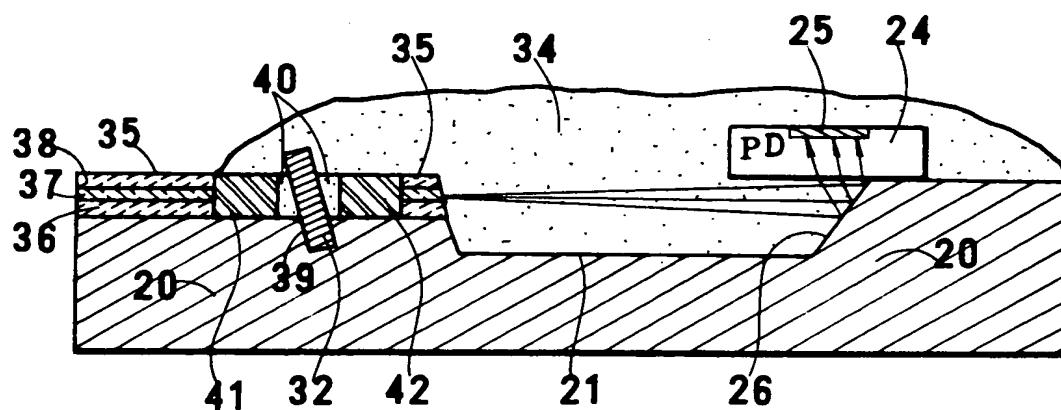
【図10】

実 施 例 4



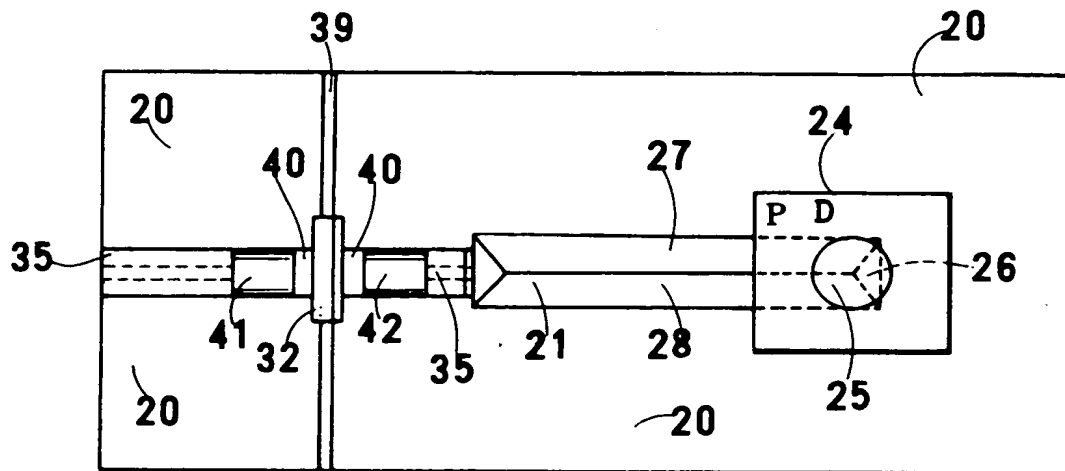
【図11】

実 施 例 5



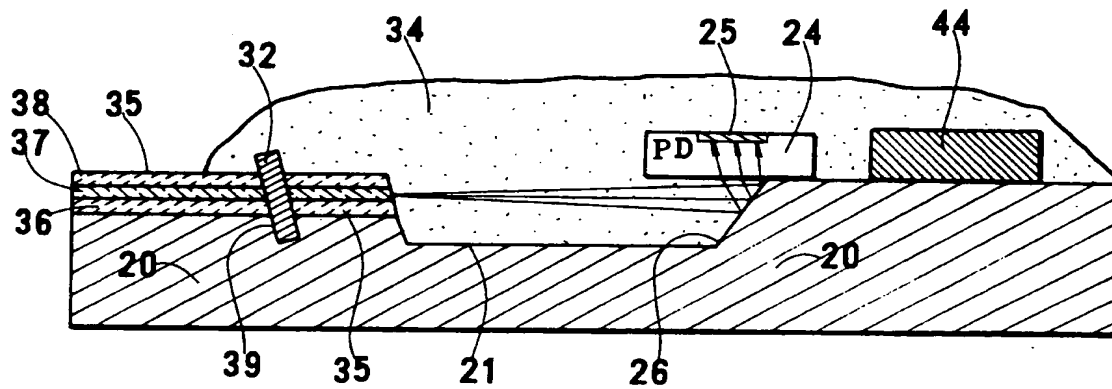
【図12】

実 施 例 5



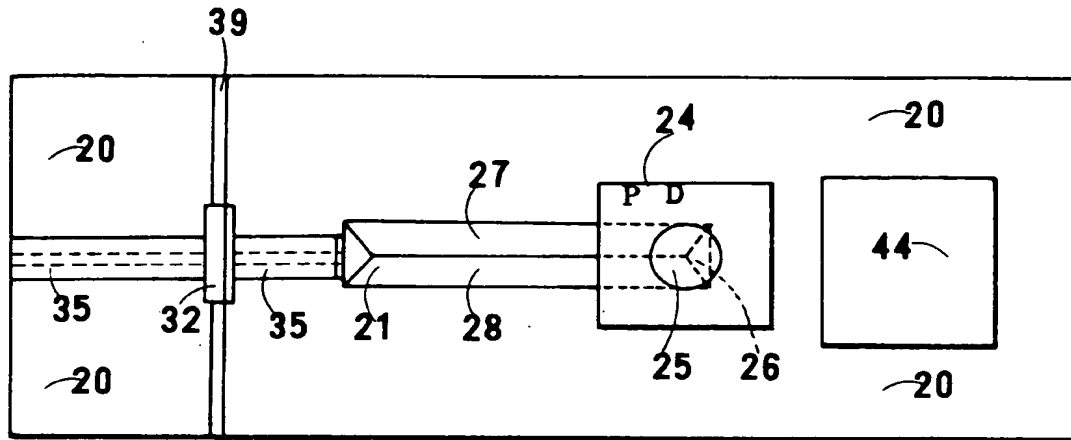
【図13】

実 施 例 6

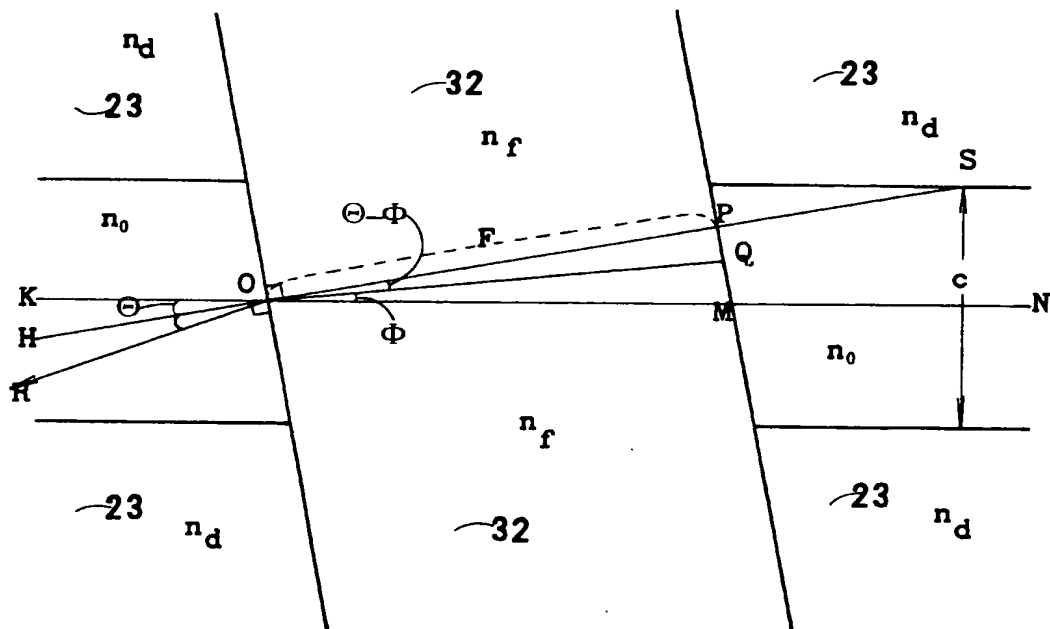


【図14】

実 施 例 6



【図15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 波長多重光伝送システムにおいて、高価なWDMを使用せず小型で安価な光受信器を提供すること。

【解決手段】 同一基板上に光伝送媒体と受光素子を設け、光伝送媒体の終端または中間部に固有波長だけを通す波長フィルタを斜めに密着させ、光伝送媒体を通った波長多重光のうち固有波長だけが波長フィルタを透過し受光素子に至り感受されるようにした。

【選択図】 図 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名 住友電気工業株式会社